

数字化工厂 3D布局规划与仿真技术实践

3D Layout Planning and Simulation Technology of Digital Factory

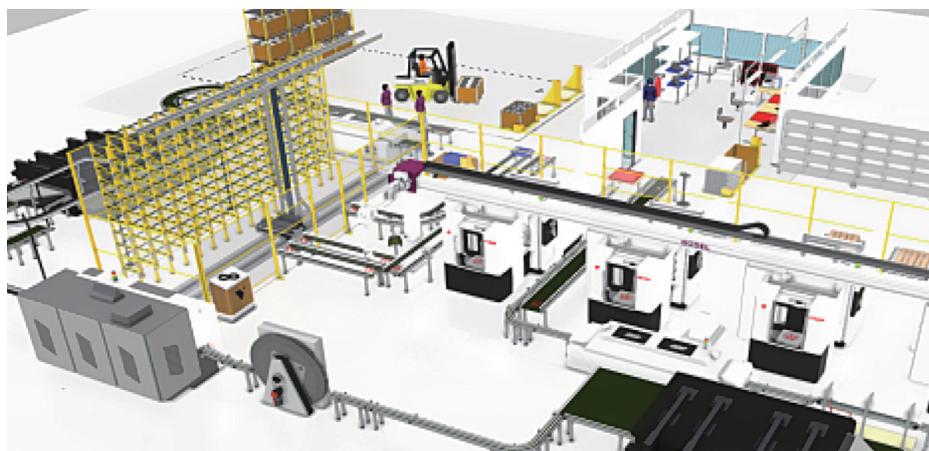
■ 周鑫 张森堂 高阳 / 中国航发黎明

数字化工厂3D布局规划与仿真技术能够对工厂生产线、设备、生产制造工艺路径、物流等进行预规划、分析、评估、验证，从而减少技术改造投入成本、缩短方案规划及评审周期、提高产品生产效率。

传统的工厂工艺布局全部依托二维(2D)图样制订厂房改造计划、设计生产线建设方案，无法体现生产设备在时间和空间上的逻辑关系，导致技改资源投入大、效益低、产能浪费现象严重。创新团队根据航空发动机变品种、小批量生产车间的特点，基于尽量减少和消除不必要的车间作业的原则，从求解流程、模型构建、模型分析3个层面对现有生产工艺布局规划理论与方法进行综合分析。在此基础上，形成航空发动机多品种、小批量、离散式数字化工厂三维(3D)布局规划建模、仿真、分析及评价方法，为数字化、自动化生产线的建设及改造提供技术支撑。

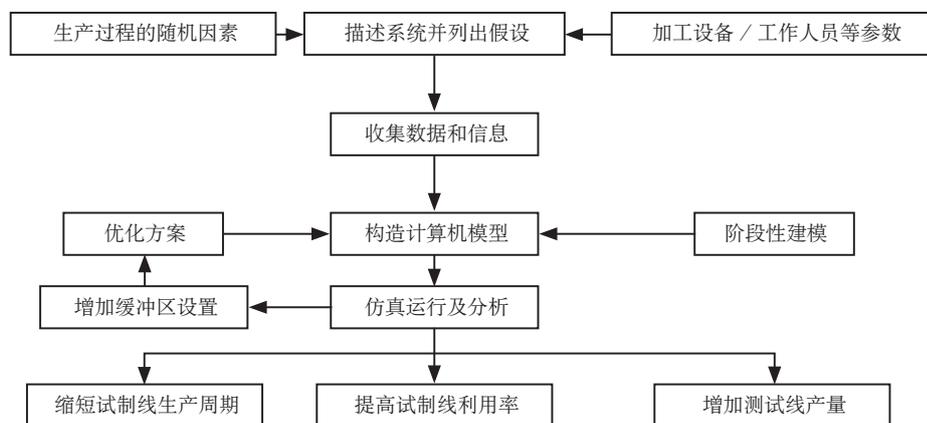
数字化工厂建模技术路线

数字化工厂建模主要从车间工艺布局立体化、生产运行动态虚拟化、运行过程数据显性化3个维度解决生产车间数字化改造的实际问题。生产车间工艺布局立体化是生产车间工艺布局的具体化过程，核心是工艺布局，要做到相对独立的车间工艺布局一次做好，获得长期收益，必须解决车间工艺布局二维图的引用、应用环境构建、模型、关联(通过模型间的关联实现设施或单元之间的关联)4个层次的问题。生产运

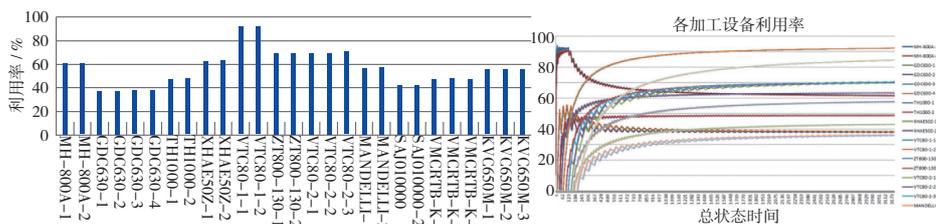


航空发动机零件生产线仿真示意

行虚拟化解决的是生产车间或自动化生产线动态展示的问题，核心是环境的构建和动态运行机制的定义，在此基础上的生产车间仿真环境将结合需求不断被迭代分析、不断优化。工艺布局修订和迭代分析结果而持续完善。运行过程数据显性化则是通过观察设备利用率的变化，找出生产线的瓶颈设备，并作为生产线优化的依据。



数字化工厂建模与仿真集成应用总体思路



运行过程数据显性化示意

数字化工厂建模关键技术

通过对数字化工厂建模技术路线的梳理,创新团队确定了实现技术路线所需突破的几项关键技术。

模型轻量化技术

航空发动机零部件通常采取面向对象的方式完成零组件建模,1个零件内存占用量超过20MB。1台航空发动机通常由上万个零组件装配而成,内存占用量超过10GB。数字化工厂建模需要引入完整的零组件模型、加工设备模型、传动装置模型等。模型轻量化之前,单条生产线内存占用量超过20GB。保持原始模型不变,90%以上的计算机无法查阅和编辑生产线模型。为保证数字化工厂建模工作的实施,必须突破模型轻量化技术,将模型进行缩减。模型塌陷技术是目前模型轻量化应用效果较好的关键技术,通过模型塌陷,原始模型内存占有量可缩小为原始模型占有量的十分之一。在数字化工厂建模之前,通过特征过滤,将模型中的孔隙、电缆等特征部件进行删除,进一步轻量化模型,可以实现发动机总装模型内存占有量从1GB缩至20MB以内。

人机交互模型构建技术

数字化工厂中,校准、搬运等工作需要人的协作,因此在数字化工厂建模时,必须将人的因素考虑到工厂模型中。通过人机交互模型构建,可以实现人员运动轨迹定义、人机协

作模式定义,并且可以用于生产线安全性判断、人员时间消耗分析。

设备实体模型构建及矩阵变换技术

生产线中的生产设备模型,主要以供应商提供、激光扫描建模、人工测绘建模等方式完成,但创建的模型只能用于静态的展示,无法用于开展物流建模、动态仿真、利用率分析等研究工作。设备实体模型构建及矩阵变换技术可以实现生产设备模型位置的摆放、运动机构的拆分、行程极限的设定、运动轨迹的编辑等工作。生产设备模型构建主要包括机床运动机构定义、设备坐标系创建、设备空间位置变换3个步骤。

生产线平衡效果的评价指标

通常采用装配生产线的平衡率、平衡损耗率以及平滑性指数等几个指标来直观地衡量装配生产线平衡的好坏。对生产线所有作业元素所耗时间进行累加,求解每台设备上每个作业所消耗的平均时间,将平均时间与单个作业最大消耗时间相除,即可得到生产线平衡率。生产线的平衡损耗是由于装配生产线上工作站之间作业分配不均导致的,首先按照每台工作站都采用最大作业时间来计算生产线的虚拟时间,将虚拟时间与实际生产线生产作业时间相减得到时间差值,所得差值与虚拟时间相除即可得到生产线平

衡损耗率,生产线的平衡损耗率越大,表示工位损失时间越多。根据连续生产15天的实际生产值除以每天的设备利用率变化,计算出平滑性指数,根据平滑性指数的数值,预测未来生产线的生产能力。

数字化工厂建模技术实践

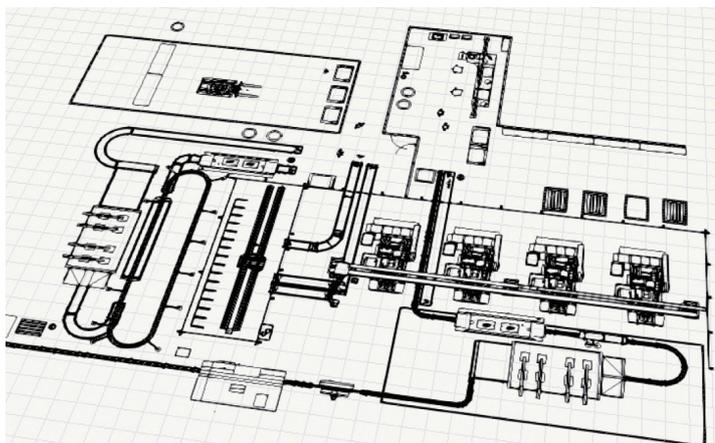
创新团队以厂房的数字化工厂建模为例进行了技术实践。厂房总建筑面积约15000m²,涉及钛合金筒形焊接机匣类、隔热屏组件类等系列产品的生产。数字化工厂建模工作流程为串行工作流程,共分为工艺平面布置图导入、导入文件编辑、效果图框架搭建、自定义布局组件搭建、非标设备建模、工艺布局效果图搭建、效果图文件生成及输出等7个步骤,以下逐一说明。

一是工艺平面布置图导入。通过数字化工厂仿真软件Visual Components,可以将CAD文件直接导入到3D格式中。因为Visual Components支持来自许多领先的CAD供应商的CAD文件类型,可以轻松导入由Autodesk、达索、PTC、西门子等公司使用流行软件应用程序创建的几何文件。

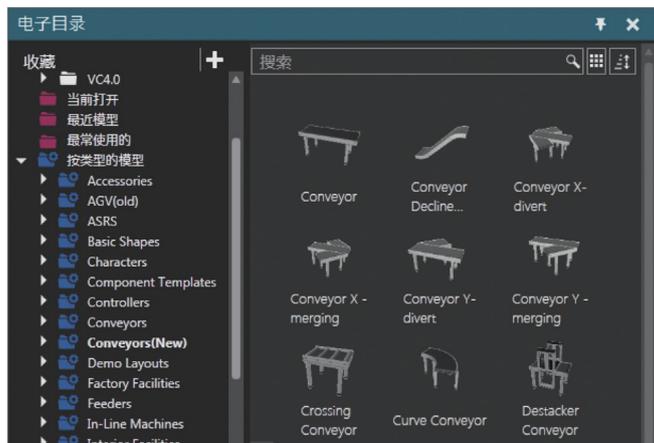
二是导入文件编辑。在图样等文件导入过程中,可以根据实际情况选择导入图样的类型及格式。图样锁定后,可以将图样作为唯一参考基准进行数字化工厂建模。

三是效果图框架搭建。导入平面工艺布局图后,即可根据所用到的组件进行搭建。

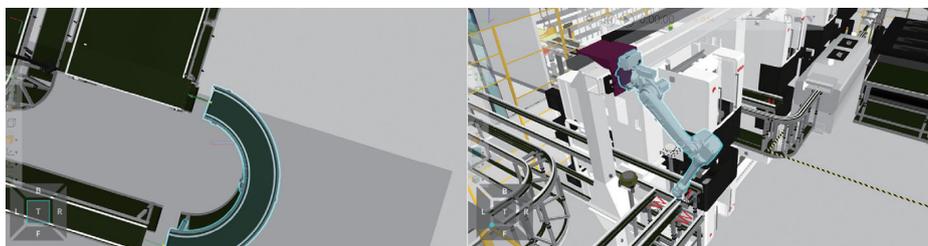
四是自定义布局组件搭建。预先定义2300个参数化的组件,其中包括来自工业自动化领域几十种品牌的机器人、传送带、智能货架、自



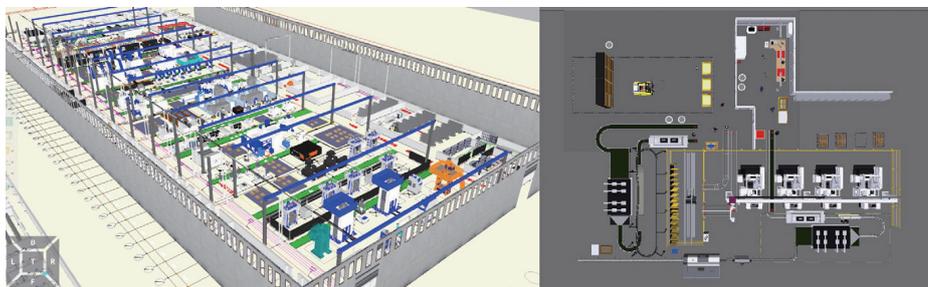
CAD图样导入效果



标准设备数据库



布局搭建



图形及3D/PDF显示

动引导小车 (AGV)、数控加工机床、龙门架、产线外围、人机协作元素等。非标设备或者库里没有的设备则可以创建私有库,通过导入模型,赋予行为动作,添加信号,生成组件,存入私有库,结合使用网络库和私有库来进行布局搭建。

五是非标设备建模。以创建机床组件为例,导入模型。在导入模型的时候,可以根据需求,选择模型的细节、品质的高低、是否需要过滤不必要的孔洞、几何元和特征

树按照什么类型导入等。

六是工艺布局效果图搭建。根据导入的图样,进行设备组件的位置摆放,形成静态布局图,然后进行动作和工艺流程设定。在进行布局搭建的时候,可以直接从网络组件库中将组件拖到场景里,利用即插即用的功能,快速构建布局。使用属性编辑功能可以修改预定义的组件参数,如尺寸、速度和颜色等。当建立私有库时,可以通过使用私有库以及公共库中的组件进行快速搭建。

七是效果图文件生成及输出。Visual Components导出的文件主要有5种,并且支持多种渲染模式,包括可互动操作的PDF文件、4K超清图片及视频录制、虚拟现实(VR)视频显示等。

创新团队以一款机匣的生产线为例,通过二次开发实现设备利用率的实时交互显示,通过调整物流路径、生产节拍,设置缓冲区,制订了3种优化方案,优化后生产能力从每季度50件,提升到每季度226件,产能提升3倍,创造价值千万余元。

结束语

本项目所突破的关键技术不仅适合在公司范围内推广应用,同时具备向行业推广的潜质。通过数字化工厂3D布局规划与仿真技术实践,应用分析及优化技术,物流周转时间可缩短20%,生产能力提升3倍以上,每条生产线瓶颈突破后可以创造新增价值百万元,未来作为生产线建设的重要支撑技术之一将持续创造更多价值。

航空动力

(周鑫,中国航发黎明,工程师,从事数字化制造技术方面的研究工作)